

ONTWIKKELING SELECTIEMETHODIEK INDUSTRIE

(GEANONIMISEERDE VERSIE)

Voor welke aarbevingsgevoelige constructies is nader onderzoek onvermijdelijk?

Contactpersoon



CARSTEN ASSMANN
Head SEC Netherlands

T +31 (0)6 27 062 056

M +31 (0)6 46 740 908

E carsten.assmann@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264

6800 AG Arnhem

Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	AANLEIDING	6
2	DOELSTELLINGEN EN RANDVOORWAARDEN	7
2.1	Doelstellingen van de selectiemethode	7
2.2	Randvoorwaarden	8
3	UITGANGSSITUATIE	9
3.1	Aantal onderzochte bedrijven	9
3.2	Aard en aantallen van onderzochte objecten	9
3.3	Type schade-effect (LoC, Pounding, LoD)	11
4	ONTWIKKELING SELECTIEAANPAK	12
4.1	Vergelijking van de Fase 1 onderzoeken	12
4.2	Analyse van gebruikte beoordelingscriteria	13
4.2.1	Voorselectie	15
4.2.1.1	Aanpak 1	15
4.2.1.2	Aanpak 2	15
4.2.1.3	Aanpak 3	15
4.2.1.4	Aanpak 4	15
4.2.1.5	Observaties	16
4.2.2	Beoordeling aardbevingsbestendigheid	16
4.2.2.1	Aanpak 1	16
4.2.2.2	Aanpak 2	16
4.2.2.3	Aanpak 3	16
4.2.2.4	Aanpak 4	16
4.2.2.5	Observaties	17
4.2.3	Beoordeling kans op falen constructie	17
4.2.3.1	Aanpak 1	17
4.2.3.2	Aanpak 2	17
4.2.3.3	Aanpak 3	18
4.2.3.4	Aanpak 4	18
4.2.3.5	Observaties	18
4.2.4	Beoordeling schade door LoC	18

4.2.4.1	Aanpak 1	18
4.2.4.2	Aanpak 2	19
4.2.4.3	Aanpak 3	19
4.2.4.4	Aanpak 4	19
4.2.4.5	Observaties	19
4.2.5	Beoordeling van het risico van een LoC door ardbeving	19
4.2.5.1	Aanpak 2	20
4.2.5.2	Aanpak 3	20
4.2.5.3	Aanpak 4	20
4.2.5.4	Observaties	20
5	SELECTIEMETHODIEK	21
5.1	Inleiding	21
5.2	Fase 1 onderzoeken	22
5.2.1	Overzicht aanvullende selectiefactoren	22
5.2.2	Inventarisatie en voorselectie constructies en insluitsystemen	23
5.2.2.1	Laad- en losplaatsen	23
5.2.2.2	Opslagtanks	23
5.2.2.3	Magazijnstellingen	23
5.2.3	Beoordeling van de schade	23
5.3	Selectie kritische constructies	24
5.3.1	Overzicht	24
5.3.2	Risicoreductie kansbeperkende maatregelen	24
5.3.2.1	Tanks en leidingen	24
5.3.2.2	Blootstellingskans voor personen	25
5.3.3	Risicoreductie effectbeperkende maatregelen	25
5.3.3.1	Werking fail-safe afsluiters	25
5.3.3.2	Werking noodplan	25
5.3.3.3	Werking opvangvoorziening	25
5.3.4	Bepaling kritische constructies	26
5.3.4.1	Pounding	26
5.3.4.2	Bijdrage aan het plaatsgebonden risico (PR)	26
5.3.4.3	Afnemend aardbevingsrisico	26
5.3.4.4	Bedrijfsspecifieke selectiefactoren	27
6	VOORBEELDEN TOEPASSING SELECTIEMETHODIEK	28
7	REFERENTIES	29
Bijlage 1	Selectiemethodiek aardbevingsgevoelige industriële installaties	30

COLOFON

31

1 AANLEIDING

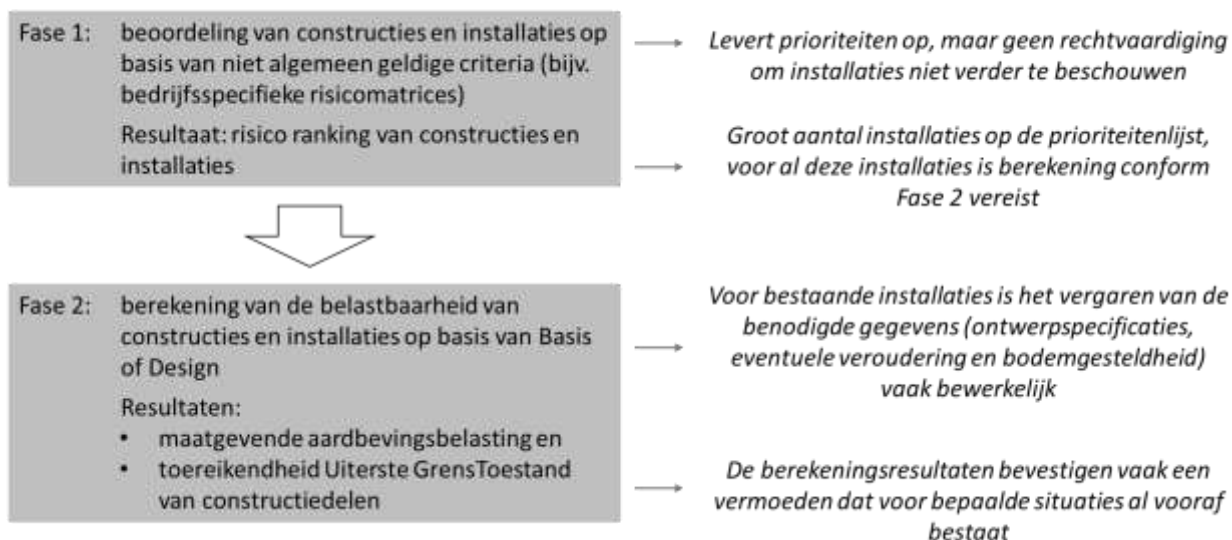
In het aardbevingsgebied in Groningen bevinden zich industriële bedrijven met installaties die bij bezwijken grote schade kunnen veroorzaken aan het leven en de gezondheid van personen en aan het milieu. Deze installaties zouden aardbevingsbestendig moeten zijn om zeker te kunnen stellen dat bij het bedrijf en in de omgeving aanwezige personen en het milieu in geval van een aardbeving beschermd zijn.

De aardbevingsbestendigheid van industriële installaties wordt sinds 2017 onderzocht volgens de 'Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor bedrijven in de industriegebieden in de provincie Groningen' [Ref. 1] en de 'LoC Toets' [Ref. 2]. De onderzoeken zijn gefaseerd: in Fase 1 worden de bedrijfsactiviteiten kwalitatief beoordeeld en worden objecten met een 'hoog' of 'zeer hoog' risico geselecteerd. In Fase 2 wordt de constructie van de geselecteerde objecten op aardbevingsbestendigheid kwantitatief onderzocht. Na de onderzoeken kunnen versterkings- of beheersmaatregelen vormgegeven worden (Fase 3).

Voor de in het aardbevingsgebied gelegen industriebedrijven zijn de Fase 1 onderzoeken inmiddels uitgevoerd. Aan de bedrijven is tevens gevraagd om te starten met de Fase 2 onderzoeken voor de vijf objecten met de hoogste prioriteit, ofwel met het hoogste risico. Hieraan heeft ongeveer de helft van de bedrijven gehoor gegeven (17 bedrijven, 50-60 installaties).

Vier ingenieursbureaus hebben tijdens de afgelopen twee jaar in opdracht van 28 bedrijven in het aardbevingsgebied risico's beoordeeld en in totaal 344 objecten geselecteerd voor nader onderzoek in Fase 2. Daarbij is een grote hoeveelheid informatie over de bedrijfsactiviteiten en over de constructie van installaties verzameld en beoordeeld. De kwantitatieve uitwerking van de Fase 2 onderzoeken vraagt meer tijd dan verwacht. Fase 2 is bij minder dan 10% van de in Fase 1 aangewezen installaties afgerond. Ondanks de geleverde inspanningen zal met de huidige aanpak op afzienbare termijn geen uitsluitel gegeven kunnen worden over de aardbevingsbestendigheid van alle industriële installaties in het aardbevingsgebied. De redenen hiervoor zijn samengevat in onderstaand figuur.

Bestaande beoordeling aardbevingsbestendigheid industriële constructies en installaties:



Figuur 1 Uitvoeringsaspecten onderzoek naar aardbevingsrisico's industrie

Om te voorkomen dat bedrijven veel tijd aan constructieve berekeningen besteden die van beperkte toegevoegde waarde zijn, heeft de NCG besloten om tussen Fase 1 en Fase 2 een extra selectiestap in te voegen. De aanpak voor deze selectiestap wordt in dit document beschreven.

2 DOELSTELLINGEN EN RANDVOORWAARDEN

2.1 Doelstellingen van de selectiemethode

Het overkoepelende belang van alle betrokken partijen is dat industriële installaties in het aardbevingsgebied op aardbevingsbestendigheid beoordeeld worden en, indien nodig, zo snel mogelijk in veilige staat moeten worden gebracht.

De aardbevingsbestendigheid van industriële installaties wordt volgens de bestaande methodiek uitgevoerd. Echter kunnen niet alle 344 in Fase 1 aangewezen objecten uitgebreid constructief onderzocht worden om een uitspraak te doen over de aardbevingsbestendigheid. In sommige gevallen kan deze uitspraak ook zonder het doorrekenen van de constructie gedaan worden (bijvoorbeeld bij bepaalde type opslagtanks of bij leidingbrugconstructies), zie rapportage TU Delft november 2018 [Ref. 3]. Bovendien zijn de inspanningen voor het doen van Fase 2 onderzoek soms groter dan hetgeen nodig is om constructies te versterken (bijv. magazijnstellingen). De noodzaak voor het nemen van (versterkings)maatregelen zou dan gebaseerd kunnen worden op informatie die reeds in Fase 1 van het onderzoek in kaart is gebracht.

Bovendien is de vraag of daadwerkelijk alle in Fase 1 aangewezen objecten aardbevingsbestendig moeten zijn. Door de ingenieursbureaus zijn de risico's voor deze objecten als 'hoog' dan wel 'zeer hoog' beoordeeld. Daarbij heeft de beoordeling van de te verwachten aardbevings schade niet altijd op een eenduidige en reproduceerbare manier plaatsgevonden. Door heldere criteria vast te leggen voor de beoordeling van de aardbevings schade kan het aantal te onderzoeken objecten mogelijk aangescherpt worden.

Het aardbevingsbestendig maken van de objecten verlaagt de kans op bezwijken. Om te kunnen beoordelen of dit nodig is moet ook duidelijk zijn welke schade door het versterken van de constructie voorkomen wordt. De verlaging van de kans op een bepaalde aardbevings schade moet dan voldoende zijn om het aardbevingrisico van 'hoog' of 'zeer hoog' naar 'acceptabel' te verlagen. Mogelijk kan de benodigde risicoverlaging ook door andere dan constructieve maatregelen bereikt worden (bijvoorbeeld door verhoging van de opvangcapaciteit of het beperken van de toegang tot gevaarlijke installaties). In dergelijke gevallen zou een uitgebreid Fase 2 onderzoek niet zinvol kunnen zijn.

Samengevat moet de te ontwikkelen selectiemethodiek dus het volgende bewerkstelligen:

1. Definiëren van type installaties die aardbevingsbestendig gemaakt zouden moeten worden, zonder hiervoor Fase 2 onderzoeken uit te voeren;
2. Ontwikkelen van criteria voor de eenduidige, objectieve en reproduceerbare beoordeling van maatgevende aardbevings schade;
3. Vastleggen van de invloed van andere dan constructieve maatregelen ter verlaging van het aardbevingrisico.

Door toepassing van de selectiemethodiek zullen de industriële installaties in één of meerdere van de volgende categorieën ingeschaald moeten kunnen worden:

- A. Risico is zo hoog dat zonder uitgebreid onderzoek in Fase 2 vaststaat dat (versterkings-)maatregelen genomen zouden moeten worden.
- B. Risico is afhankelijk van de kans op bezwijken bij een te verwachten aardbeving belasting, waardoor constructief onderzoek in Fase 2 nodig is.
- C. Schade als gevolg van bezwijken is beperkt en daarmee ook het risico, waardoor geen nader onderzoek noch versterking nodig zijn.
- D. Het nemen van versterkingsmaatregelen is onafhankelijk van de inschaling in een risicocategorie (omdat versterkingsmaatregelen voor de hand liggen of eenvoudig door te voeren zijn).

Categorie D. is bedoeld voor het identificeren van situaties waarbij het risico van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen niet doorslaggevend is voor het besluit om maatregelen te nemen. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer constructief onderzoek in Fase 2 meer inspanning vraagt dan het realiseren van een versterkingsmaatregel.

2.2 Randvoorwaarden

Voor de ontwikkeling en de toepassing van de selectiemethodiek gelden de volgende randvoorwaarden:

- De selectiemethodiek moet zonder aanvullende informatie van de bedrijven ontwikkeld kunnen worden (op basis van bij de ingenieursbureaus en Arcadis beschikbare kennis en informatie).
- De selectiemethodiek moet niet alleen op de reeds in Fase 1 onderzochte installaties toegepast kunnen worden, maar ook op tot nu toe nog niet beschouwde of in ontwikkeling zijnde installaties en constructies.
- De selectiemethodiek moet zonder inzet van speciale software gebruikt kunnen worden door de bedrijven.
- De in de selectiemethodiek gebruikte beoordelingscriteria moeten aangepast kunnen worden aan veranderende aardbevingsrisico's (als gevolg van het terugschroeven van de aardgasproductie).
- De selectiemethodiek zal een handreiking geven voor het wel of niet verder onderzoeken van aardbevingsrisico's. Toepassing van de methodiek bevrijdt werkgevers en overheden niet van hun wettelijke verantwoordelijkheden.

3 UITGANGSSITUATIE

3.1 Aantal onderzochte bedrijven

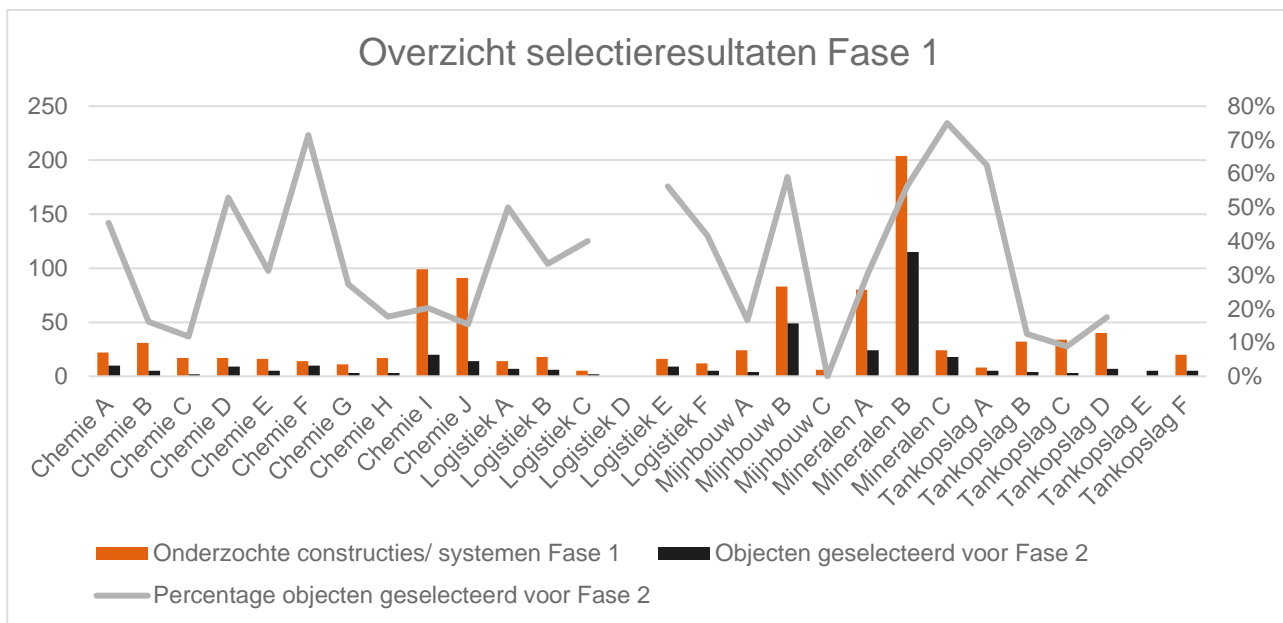
In totaal zijn 28 bedrijven onderzocht door de vier adviesbureaus. Voor een overzicht van de onderzochte bedrijven per adviesbureau en inzicht in het type uitgevoerd onderzoek (fase 1 of 2), zie onderstaande tabel.

Tabel 1 Onderzochte bedrijven en type onderzoek per adviesbureau. Samengevoegde cellen betekent dat geen onderscheid is gemaakt in het subtype onderzoek (1a en 1b of tussen 2a, 2b en 2c).

Aanpak van de bureaus 1 t/m 4	Onderzocht bedrijf	Fase 1a	Fase 1b	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c
Aanpak 1	Chemisch bedrijf A					
Aanpak 2	Chemisch bedrijf B					
	Chemisch bedrijf C					
	Chemisch bedrijf D					
	Chemisch bedrijf E					
	Chemisch bedrijf F					
	Tankopslagbedrijf A					
	Logistiek bedrijf A					
	Logistiek bedrijf B					
	Logistiek bedrijf C					
	Chemisch bedrijf G					
	Chemisch bedrijf H					
Tankopslag B						
Chemisch bedrijf I						
Aanpak 3	Tankopslag C					
	Chemisch bedrijf J					
	Tankopslag D					
	Logistiek bedrijf D					
	Mijnbouw A					
	Mijnbouw B					
	Minerale (grond)stoffen A					
	Logistiek bedrijf E					
	Logistiek bedrijf F					
	Minerale (grond)stoffen B					
Aanpak 4	Logistiek bedrijf A					
	Mijnbouw C					
	Tankopslag E					
	Minerale (grond)stoffen C					
	Tankopslag F					

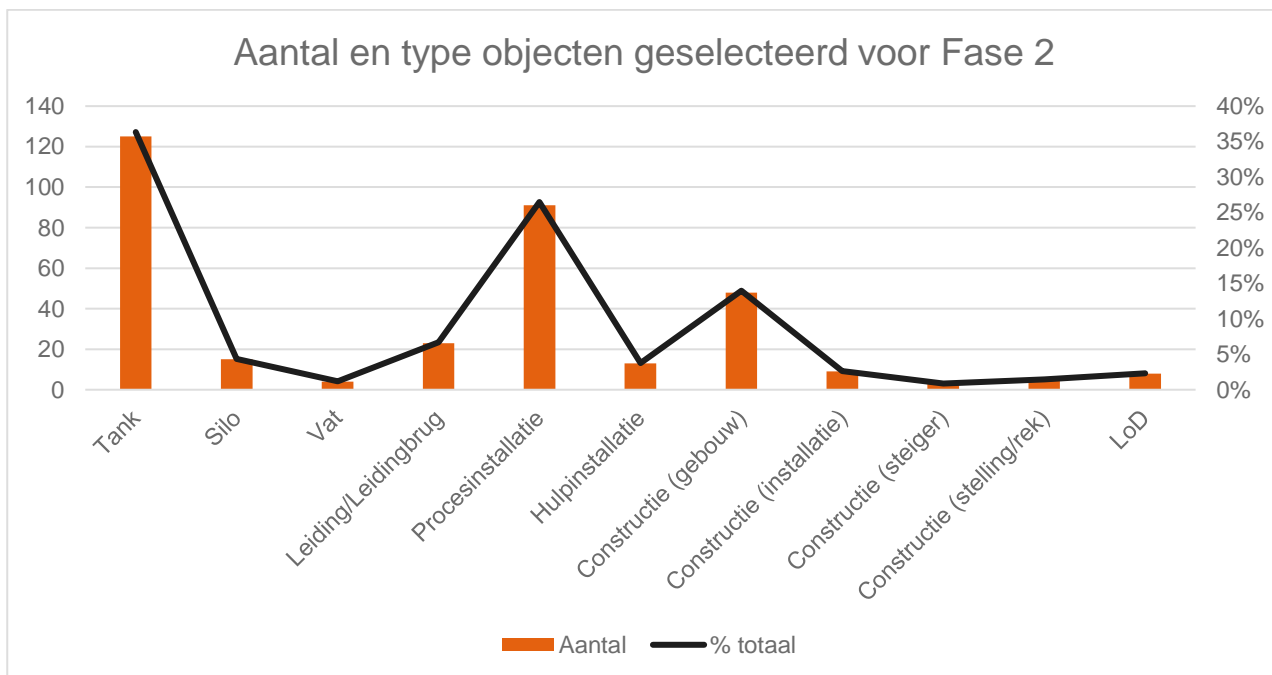
3.2 Aard en aantallen van onderzochte objecten

In totaal zijn door de adviesbureaus in Fase 1 970 objecten onderzocht, waarvan op basis van het kwalitatieve onderzoek 344 objecten geselecteerd zijn voor nader onderzoek in Fase 2. Dit is terug te zien in onderstaande figuur.



Figuur 2 Overzicht selectieresultaten Fase 1.

Voor een inzicht in het type en aantal objecten die een hoge prioriteit zijn toegekend in het fase 1-onderzoek, en aldus geselecteerd zijn voor vervolgonderzoek, zie de onderstaande figuur.

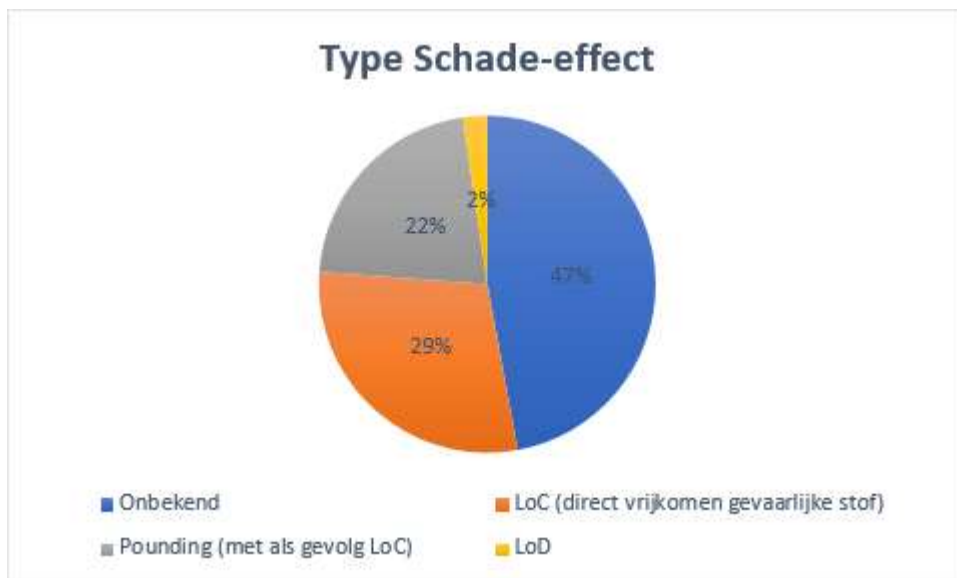


Figuur 3 Aantal en type objecten die zijn geselecteerd voor Fase 2-onderzoek

3.3 Type schade-effect (LoC, Pounding, LoD)

Er is een onderscheid gemaakt tussen het schade-effect van een Loss of Containment LoC (direct vrijkomen van de inhoud van het insluitsysteem), schade-effecten gerelateerd aan pounding (met als gevolg het vrijkomen van gevaarlijke stof) en schade-effecten gerelateerd aan het falen van een veiligheidsvoorziening (Line of Defense, LoD). In de Fase 1 onderzoeken is niet altijd een onderscheid gemaakt tussen het vrijkomen van een gevaarlijke stof en product of hulpstof.

Zie Figuur 3 voor een overzicht van de verwachte schade-effecten bij het falen van het object zoals is gebleken uit Fase 1 onderzoeken. Uit de onderzoeksrapporten blijkt niet altijd duidelijk welk type schade verwacht wordt bij het falen van het object, vandaar dat de categorie 'Onbekend' is opgenomen (47%). Bij het schade-effect LoC zijn enkel de LoC's waarbij gevaarlijke stoffen vrijkomen meegenomen in de analyse. Het is niet bekend of bij de inschatting van de mogelijke schade bij LoC-scenario's ook domino-effecten zijn meegewogen.

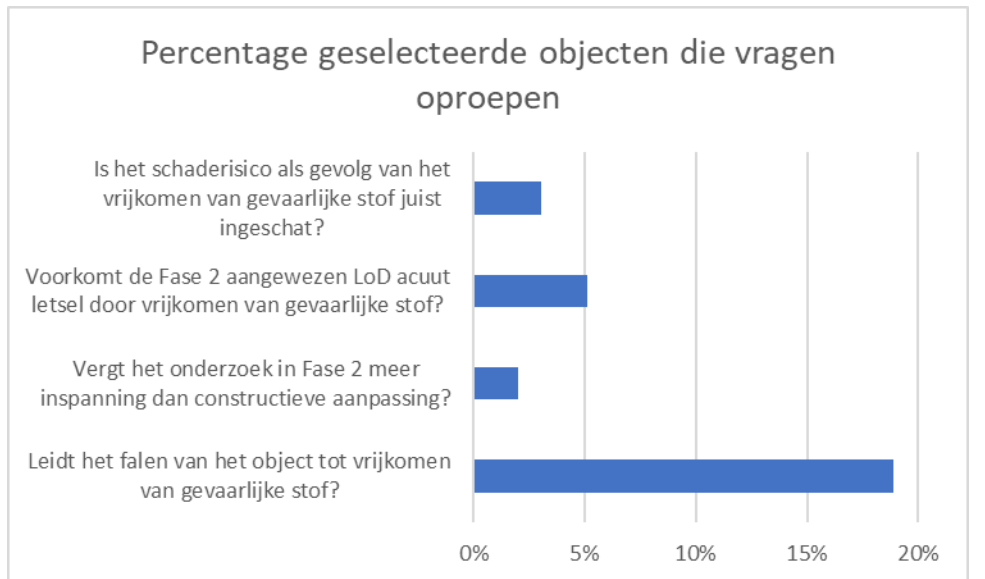


Figuur 4 Type schade-effecten.

4 ONTWIKKELING SELECTIEAANPAK

4.1 Vergelijking van de Fase 1 onderzoeken

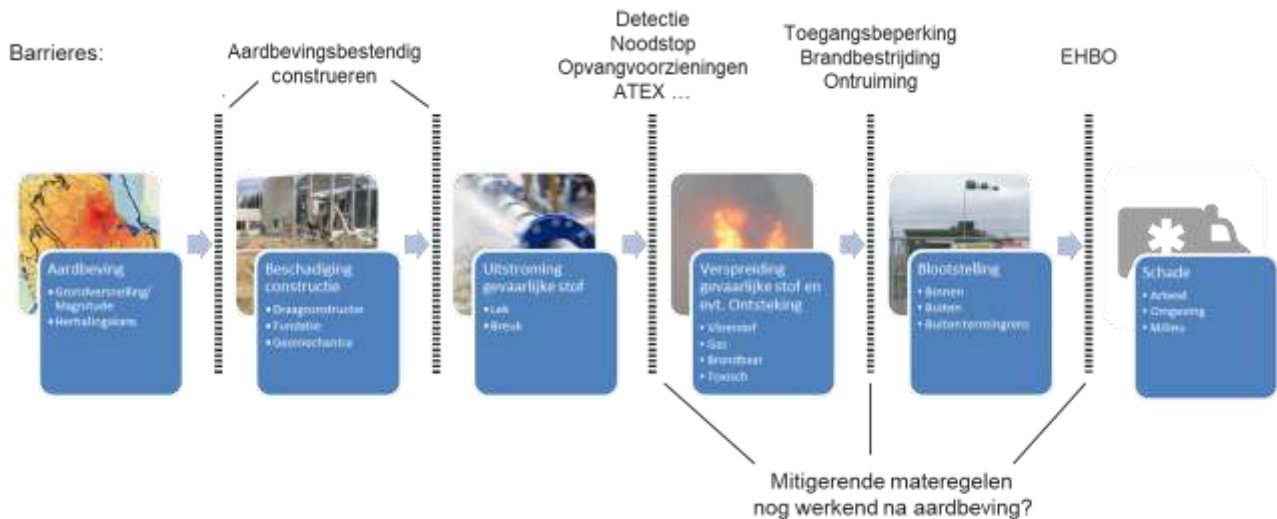
De onderzoeksresultaten van Fase 1 geven geen eenduidig beeld van de aardbevingsrisico's. Dit ligt eraan dat de aard en de afbakening van de onderzochte objecten en de methoden voor risicobeoordeling verschillen tussen ingenieursbureaus en bedrijven. De uitkomsten van de Fase 1 onderzoeken wekken daarom vragen op, waarvan de meest opvallende in onderstaande grafiek zijn samengevat.



Figuur 5 Indicatie van het aandeel selecteerde objecten waarvan Fase 1 vragen oproept.

Figuur 5 laat zien waar mogelijk het grootste potentiaal tot aanscherping de Fase 1 selectieresultaten bestaat. Uit de analyse van de Fase 1 onderzoeken blijkt dat bij een aanzienlijk deel van de geselecteerde objecten (bijna 20%) niet duidelijk of bezwijken leidt tot uitstroming van een gevaarlijke stof. Ook betreffen 5% van de geselecteerde objecten veiligheidssystemen (Lines of Defense LoD), waarvan niet duidelijk is of deze essentieel zijn voor het beperken van acute gezondheidsschade. Bij 2% van de geselecteerde objecten lijkt uitgebreid constructief onderzoek niet proportioneel aangezien versterkingsmaatregelen eenvoudig bepaald en mogelijk ook doorgevoerd kunnen worden.

In een eerste onderzoekstap moeten de Fase 1 resultaten daarom vergelijkbaar gemaakt worden door eenduidige definities toe te passen voor de scenario's die tijdens een aardbeving in industriële installaties op kunnen treden. Voor de ontwikkeling van de selectiemethodiek is het volgende scenariooverloop ten grondslag gelegd:



Figuur 6 Standaard scenariooverloop van een LoC als gevolg van een aardbeving

Figuur 6 laat zien dat het aardbevingsbestendig maken van constructies slechts één van de maatregelen is om aardbevingsrisico's in de industrie te beperken. Bij de beoordeling van de aardbevingsrisico's moeten daarom ook de kansen op vervolgebeurtenissen beschouwd worden, zoals verspreiding en ontsteking van gevaarlijke stoffen en de werking van veiligheidsmaatregelen. Daarom is onderzocht in hoeverre de Fase 1 studies op de volgende aspecten vergelijkbare resultaten hebben gegeven:

- De ruimtelijke en functionele afbakening die gehanteerd moet worden tussen installatie / insluitsystemen / constructies / systemen
- Factoren die de kans op falen beïnvloeden: type constructie (gebouw gemetseld, gebouw staalconstructie, tank, kolom, leidingbrug, zie onderzoek TU Delft 2018 [Ref. 3]), type ondergrond en fundering, afmetingen (lengte-breedte-verhouding), vullingsgraad insluitsystemen;
- Het bepalen van relevante schade-effecten, zoals instorten, breuk van kabels en leidingen, lekkages;
- Het vastleggen van vervolgebeurtenissen, zoals vorming van toxische en brandbare wolken, optreden van branden en explosies, uitval van controle- en beschermingsystemen; en
- Het wel of niet beschouwen van aanwezige veiligheidsmaatregelen bij de risicobeoordeling.

Omdat niet alle aardbevingsrisico's in Fase 1 met dezelfde diepgang beoordeeld zijn, moet verwacht worden dat niet voor alle 344 aangewezen objecten informatie over het aangehouden scenariooverloop beschikbaar is. Dat is wel nodig om de risico's op een eenduidige manier te kunnen beoordelen. In de Fase 1 rapporten wordt echter veelvuldig verwezen naar documenten waarin de ontwikkeling van scenario's nader beschreven is (QRA, MRA, RI&E, VR). Er kan dan ook aangenomen worden dat deze informatie bij bedrijven en/of bij de ingenieursbureaus beschikbaar is.

4.2 Analyse van gebruikte beoordelingscriteria

Nadat in de eerste stap standaard scenario's zijn vastgelegd, kan in een tweede stap nagegaan worden welke criteria de ingenieursbureaus gebruikt hebben voor de beoordeling van de:

- Ernst van de aardbevingschade; en
- Waarschijnlijkheid dat deze aardbevingschade optreedt.

In deze stap wordt ervan uitgegaan dat alleen objecten met een 'hoog' of 'zeer hoog' aardbevingsrisico aangewezen zijn. De inschaling in deze categorieën zal gebeurd moeten zijn omdat een hoge schade en/of een hoge waarschijnlijkheid wordt verwacht.

Bij objecten die vanwege een hoge waarschijnlijkheid aangewezen zijn, wordt in de Fase 1 onderzoeken nagegaan welke criteria aan de hoge waarschijnlijkheidsbeoordeling ten grondslag hebben gelegen:

- a. Welke herhalingskans op een maatgevende aardbevingsbelasting is ten grondslag gelegd?
- b. Hoe is de aardbevingsbestendigheid van de constructie meegewogen bij de kansbepaling (bijv. stevigheid opslagtanks, vgl. resultaten van Fase 2 onderzoeken / TU Delft onderzoek uit 2018)?
- c. Welke vervolgmogelijkheden zijn gehanteerd (kans op bezwijken van het object, kans op ontsteking, kans op vallen in een bepaalde richting, kans op aanwezigheid van personen, kans op lozing naar een oppervlaktewater)?
- d. Hoe is de werking van aanwezige kans-reducerende maatregelen gewogen?

Bij objecten die vanwege een hoge verwachte schade geselecteerd zijn, wordt uit de Fase 1 onderzoeken herleid hoe deze beoordeling tot stand is gekomen:

- a. Welk schade-effect veroorzaakt de schade (brand, explosie, toxische wolk, fysieke impact)?
- b. Ondervinden personen op het bedrijf (arbeidsrisico), personen buiten het bedrijf (extern risico) of het milieu schade?
- c. Is de schade blijvend of herstelbaar?
- d. Hoe omvangrijk is de schade (aantal personen, aantallen kg emissie)
- e. Welke gebeurtenissen hebben plaats moeten vinden om de beoordeelde schade te veroorzaken?
- f. Hoe is de werking van aanwezige effectbeperkende maatregelen meegewogen?

Aan de hand van Fase 1 onderzoeken is er een uniform stappenplan opgesteld. Dit stappenplan bestaat uit de volgende stappen (zie Figuur 7 voor een visuele weergave):

1. Voorselectie constructies en inluitsystemen;
2. Beoordeling aardbevingsbestendigheid installaties;
3. Beoordeling kans op falen constructie t.g.v. aardbeving;
4. Beoordeling schade maatgevend LoC scenario;
5. Beoordeling waarschijnlijkheid maatgevend LoC scenario.



Figuur 7 Door de ingenieursbureaus gehanteerde stappen Fase 1 onderzoek

De vier ingenieursbureaus hebben per stap wel hun eigen beoordelingscriteria gehanteerd. Deze criteria zijn in de volgende paragrafen nader behandeld.

4.2.1 Voorselectie

4.2.1.1 Aanpak 1

Adviesbureau 1 heeft in de voorselectie insluitsystemen met het grootste gevaarspotentieel voor personen geselecteerd. Om tot de voorselectie te komen is gebruik gemaakt van een soortgelijk aanwijsgetal-methodiek uit de QRA (kwantitatieve risicoanalyse). Op basis van een combinatie van de hoeveelheid stof, de procescondities en een grenswaarde voor (brandbaar of toxisch) worden insluitsystemen geselecteerd. Het potentiële gevaar voor het milieu wordt aangeduid middels de milieuschade index, voortkomend uit de selectie voor de milieurisicoanalyse (MRA).

Daarnaast is er gekeken naar een voorselectie van insluitsystemen en constructies van gebouwconstructies.

Installatieonderdelen kunnen uit drie verschillende combinaties van insluitsystemen en constructies bestaan:

- Constructies waar één insluitsysteem in voorkomt;
- Constructies die meerdere insluitsystemen bevatten;
- Insluitsystemen verdeeld over meerdere te onderscheiden constructies

Het is belangrijk om dit onderscheid te herkennen, omdat de kans van falen van de installatieonderdelen door de constructie bepaald wordt.

4.2.1.2 Aanpak 2

Adviesbureau 2 heeft constructies en insluitsystemen geselecteerd op basis van de QRA en de MRA. In de voorselectie wordt een onderscheid gemaakt tussen veiligheid en milieurisico's. Voor veiligheid is er gekeken naar de QRA. Het intrinsieke gevaar van een insluitsysteem hangt af van de hoeveelheid stof, het fysieke en toxische eigenschappen van de stof en de specifieke procesomstandigheden. Om deze risico's in kaart te brengen is er gebruik gemaakt van een aanwijsgetal "nummer A". Als beoordelingscriterium heeft Bedrijf B gekeken naar insluitsystemen die een aanwijsgetal hebben groter dan 0,1.

Voor milieu is er gekeken naar de MRA. De MRA-selectie bestaat uit twee stappen. De selectie van de eerste stap wordt bepaald door aqua toxische stoffen op basis van de totale hoeveelheid in de inrichting. De tweede stap wordt bepaald door de hoeveelheid drempel van 10% in de insluiting. De volgende drempels in de MRA zijn aanwezig:

- Klasse 1 = 10 kg
- Klasse 2 = 100 kg
- Klasse 3 = 1.000 kg
- Klasse 4 = 10.000 kg
- Klasse 5 = 100.000 kg

Containers met een volume groter dan 2.000 kg die aqua toxische producten bevatten zijn ook opgenomen in de eerste selectielijst.

4.2.1.3 Aanpak 3

Adviesbureau 3 heeft objecten voor onderzoek in Fase 1 geselecteerd tijdens een locatiebezoek. Deze voorselectie is op basis van een expert judgement. Daarbij heeft het adviesbureau gebruik gemaakt van Earthquake Criticality Assessment (ECA) sessies. In deze sessies (op locatie) is er gekeken naar constructies, installaties, gebouwen en objecten die verder onderzocht dienen te worden. Ze zijn beschouwd op hun individuele risico's ten aanzien van aardbevingseffecten. Deze ECA sessies zijn gebaseerd op de HAZID (Hazard Identification) en FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) studies. Aan de hand van deze ECA studies is per onderdeel van de verschillende objecten de kritieke toestand vastgesteld ten aanzien van veiligheid en milieu.

4.2.1.4 Aanpak 4

Adviesbureau 4 heeft insluitsystemen geselecteerd op basis van de aanwezige QRA of op basis van een expert judgement.

4.2.1.5 Observaties

De adviesbureaus selecteren objecten grotendeels op basis van aanwijscriteria voor QRA en MRA. Volgens de subselectiemethodiek worden binnen- en buitensituaties onderscheiden, waarbij binnensituaties als minder gevaarlijk worden beschouwd. De methodiek laat ook toe dat buiten opgestelde opslagtanks in tankputten als minder gevaarlijk ingedeeld kunnen worden, mits het om vloeistoffen gaat die opgevangen worden. In situaties waarbij meerdere tanks in een gezamenlijke tankput staan, zal de opvangcapaciteit van de meeste tankputten echter onvoldoende zijn om de inhoud van alle bij een aardbeving falende tanks op te vangen. Voor de selectie van aardbevingsgevoelige constructies zouden deze opslaginstallaties daarom als buitensituaties gezien moeten worden.

Naast de PGS 15 opslaggebouwen zijn meestal ook de magazijnstellingen in de gebouwen geselecteerd. Aangezien magazijnstellingen door hun constructie en normale belasting in het algemeen niet bestand zijn tegen aarbevingen, zal in de meeste gevallen versteving nodig zijn. Nader onderzoek van magazijnstellingen is dan ook niet nodig om dit te constateren.

Één van de bureaus heeft laad- en losplaatsen niet in de voorselectie opgenomen. Aardbevingsgevoelige stationaire installatiedelen, zoals leidingen, laadarmen en vaste verbindingen blijven zo buiten beschouwing.

4.2.2 Beoordeling aardbevingsbestendigheid

4.2.2.1 Aanpak 1

Adviesbureau 1 heeft de schadeklassen ingedeeld afhankelijk van de piekgrondversnelling, zoals weergegeven in de NRP 9998 (dec. 2015). Daarbij beoordeelt Adviesbureau 1 de aardbevingsbestendigheid van constructies tegen een grondversnelling van 0,15g ofwel 1,5 m/s². Hiervoor gebruikt het adviesbureau de fragility curves en de daaruit afgeleide schadeklassen uit de HAZUS-MH-Technical Manual van de FEMA. Hierin worden de verschillende schadeklassen voor verschillende constructies beschreven. Er wordt onderscheid gemaakt in DS 1 t/m DS 5, waarbij door Adviesbureau 1 alleen gebruik wordt gemaakt van DS 2 t/m DS 5 (slight, moderate, extensive en complete damage).

4.2.2.2 Aanpak 2

Adviesbureau 2 maakt voor de beoordeling van de aardbevingsbestendigheid gebruik gemaakt van literatuur: Richtlijnen voor Seismische evaluatie en ontwerp van petrochemische voorzieningen.

Adviesbureau 2 maakt onderscheid in de volgende type constructies:

- Staalconstructies (gebouwen);
- Tanks en silo's (horizontale en verticaal geplaatste vaten);
- Ondergronds leidingwerk en leidingwerk boven maaiveld, inclusief leidingbruggen

Deze constructies worden door Adviesbureau 2 experts tijdens locatiebezoeken beoordeeld aan de hand van de volgende criteria:

1. Geotechnische omstandigheden;
2. Bestendigheid constructie
3. Bestendigheid leidingen

4.2.2.3 Aanpak 3

Adviesbureau 3 hebben de constructies tijdens locatiebezoeken beoordeeld volgens de ECA-methodiek. Binnen de ECA-methodiek wordt eerst het component gedefinieerd, waarbij de functie en de node (systeem grenzen) worden vastgesteld. Daarna wordt de impact van het vervallen van de functie ini algemene zin beoordeeld. Daarbij wordt per component onder andere vastgelegd:

- Welk type component het betreft;
- Type fundering en kwaliteit van de verankering/verbindingen;
- Mate van veroudering.

4.2.2.4 Aanpak 4

Tijdens inspecties in het veld hebben Adviesbureau 4 experts de staat van onderhoud van constructie-onderdelen of -elementen bepaald en in vijf klassen ingedeeld.

Bij de beoordeling van de bestendigheid van constructies tegen aardbevingen wordt het generieke uitgangspunt gehanteerd dat constructies bij een aardbeving met een herhalingskans van 1 per 1000 jaar zullen falen. Dit geldt zowel voor niet aardbevingsbestendige als wel aardbevingsbestendige ontworpen constructies. De bij een aardbeving met een herhalingskans van 1 per 1000 jaar behorende grondversnelling wordt niet uit NPR 9998 achterhaald maar is met TNO overeengekomen. Uiteindelijk zijn ook bij Adviesbureau 4 constructies zijn op weerstand tegen een grondversnelling van $1,5 \text{ m/s}^2$ getoetst. Voor bepaalde type constructies zijn berekeningen uitgevoerd.

4.2.2.5 Observaties

Bij de beoordeling van de aardbevingsbestendigheid hebben de adviesbureaus statistische gegevens uit de literatuur gecombineerd met de expertsbeoordeling van de constructies in het veld. De onderzochte aspecten komen overeen met de Handreiking voor Fase 1 onderzoeken van TNO/Deltares [Ref. 4].

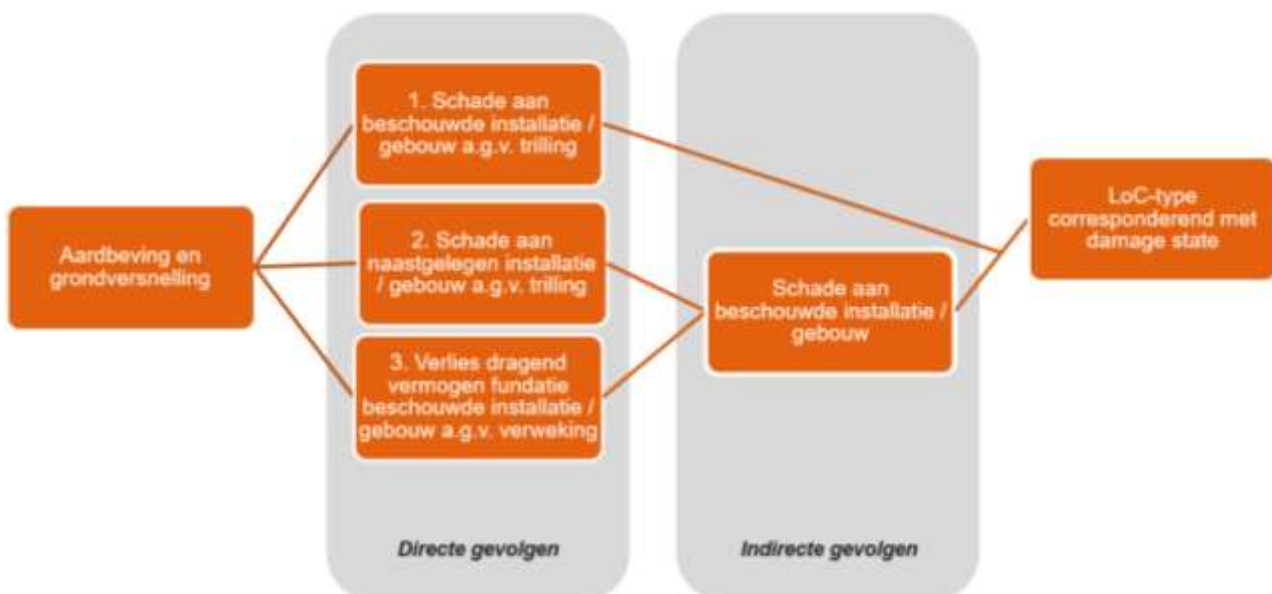
4.2.3 Beoordeling kans op falen constructie

4.2.3.1 Aanpak 1

Adviesbureau 1 beoordeelt de kans op schade met behulp van fragility curves voor aardbevingen. Fragility curves zijn de kansverdelingsfuncties van de sterkte en daarmee ook voor het bereiken van de schadeklassen (damage states). Deze curves geven de kans weer voor een constructie op het bereiken van een gedefinieerde schadeklassen. De verdelingsfuncties van de belasting worden aangeduid als de hazard curve. De kans van het falen (faalkans) wordt bepaald door de combinatie van de hazard curve met de fragility curve.

De kans van een type LoC bij een gegeven PGA is opgebouwd uit een aantal elementen (Figuur 7):

1. De aardbeving geeft een golf/trilling in de ondergrond, gemeten in de PGA;
2. Deze trilling wordt via drie onafhankelijke processen overgedragen op de installatie;
3. Aan elk proces kan een dealkans worden toebedeeld;
4. De drie dealkansen tezamen zullen een totaalkans van optreden van een LoC-scenario vormen.



Figuur 8: Gevolgen voor constructies / fundaties door drie overdrachtsprocessen als gevolg van grondversnellingen (PGA)

4.2.3.2 Aanpak 2

Adviesbureau 2 kent kanscategorieën toe op basis van expert opinon. Daarbij hanteert het kans categorieën uitlopend van A t/m E. De categorieën zijn als volgt:

- A = zeer laag

- B = laag
- C = gemiddeld
- D = hoog
- E = zeer hoog

De indeling van een categorie is op basis van de hoogste bijdrage aan de totale faalkans. De totale faalkans wordt gelijk gesteld aan 1. Experts delen constructies in klassen in die kenmerkend zijn voor de faaloorzaken gerelateerd aan het ontwerp, de geotechnische situatie en de staat van onderhoud. De indeling geschiedt aan de hand van uniforme representatieve criteria. De bijbehorende kanscategorie wordt vervolgens toegekend op basis van de relatieve kans: wanneer een constructie op één van de faalmechanismen (ontwerp, geotechniek of staat van onderhoud) slecht scoort wordt de kans op falen nagenoeg 1 categorie E toegekend.

4.2.3.3 Aanpak 3

Adviesbureau 3 leidt de kans op falen af van de piekgrondversnelling. Deze PGA is gebaseerd op de PGA-contourkaart van het KNMI, zoals vermeld in de NPR 9998. De aanwezige maximale piekgrondversnellingen van de door Adviesbureau 3 onderzochte bedrijven variëren tussen de 0.05 – 0.35g. Hierbij is de herhalingsijd wel constant 475 jaar.

Voor een aardbeving met deze herhalingskans wordt een niet locatiespecifieke verweking van de grond verondersteld. Daarbij wordt uitgegaan van zettingen van enkele centimeters tot decimeters.

De expertbeoordeling van de bestendigheid van de constructie tegen maatgevende grondversnelling en verweking is gebruikt voor een indeling in kanscategorieën uit risicomatrices. Daarbij zijn bedrijfsspecifieke risicomatrices toegepast.

4.2.3.4 Aanpak 4

Adviesbureau 4 koppelt de waarschijnlijkheid van falen aan de kans op een maatgevende grondversnelling (PGA) van 10^{-3} per jaar. Hierbij worden wel enkele verhoogde/verlaagde correctiefactoren doorgevoerd. Er is een correctie van factor 0.1 voor constructies met hoge herverdelingscapaciteit en/of lage massa. Verder is er een verhoging van de faalkans met 0.1 doorerekend bij slechte staat van onderhoud bij constructies. Daarnaast is er nog een verhoging van de faalkans met 0.1 bij aantoonbaar gevaar van verweking van de ondergrond. Kansen kleiner dan 1 per 1000 jaar zijn buiten beschouwing gelaten, omdat niet verwacht wordt dat dergelijke kansen leiden tot een onaanvaardbaar risico.

4.2.3.5 Observaties

De beoordeling van de waarschijnlijkheid berust bij alle adviesbureaus op een inschatting van constructieve, geotechnische en onderhoudsaspecten. De beoordelingscriteria en de samenhang met een toekende waarschijnlijkheden zijn echter niet altijd expliciet gemaakt. Hierdoor is vaak onduidelijk of en hoe de werking van kansbeperkende maatregelen meegewogen zijn. Ook is vaak geen kans op falen per jaar ingeschat, waardoor niet duidelijk is of het falen door aardbeving significant bijdraagt aan de totale faalkans van een constructie.

4.2.4 Beoordeling schade door LoC

4.2.4.1 Aanpak 1

Adviesbureau 1 beoordeelt schade die resulteert uit een LoC-scenario met behulp van de effectafstand, het aantal blootgestelden binnen/buiten de inrichting en het mogelijk letaliteitseffect.

De effectafstand wordt bepaald voor de meest voorkomende weersituatie D5. Deze meteorologische situatie betekent stabiliteitsklasse D (neutraal weer en windsnelheid 5 m/s). De reden hierachter is dat D5 80% van de tijd vertegenwoordigt en overdag verreweg de meeste mensen aanwezig zijn op de locatie (Chemiepark Delfzijl). De effectafstanden zijn bij benadering afgeleid uit de QRA. Op basis van de effectafstand, kan het aantal blootgestelden en slachtoffers worden bepaald. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen blootstelling van personen op de inrichting en buiten de inrichting. Voor het aantal slachtoffers is ditzelfde onderscheid gemaakt.

4.2.4.2 Aanpak 2

Adviesbureau 2 beoordeelt de schade door LoC-scenario's op basis van de totale inhoud van een insluitsysteem die vrij kan komen in combinatie met de gevaarseigenschappen van de stof. Daarbij is de werking van schadebeperkende maatregelen niet in rekening gebracht.

Voor brandbare en toxische stoffen heeft Adviesbureau 2 effectberekeningen uitgevoerd. Vervolgens is beoordeeld of er blootstelling en personenschade binnen en buiten de terreingrens te verwachten valt (gewonde en dodelijke slachtoffers). Milieuschade is door het adviesbureau gecategoriseerd op basis van totale hoeveelheid en aquatoxiciteit van de stof.

4.2.4.3 Aanpak 3

Adviesbureau 3 heeft de schade veroorzaakt door het falen van de constructie beoordeeld op drie aspecten:

- Vrijkomen van de gevaarlijke stof;
- Vrijkomen van een stof die fysieke schade veroorzaakt (bijv. heet product);
- Neerstorten van constructie(delen) en raken van personen.

Door middel van expert judgement worden schadecategorieën uit risicomatrices toekend op voor veiligheids- (dodelijk, blijvend en reversibel letsel) en milieuschade:

4.2.4.4 Aanpak 4

Net als Adviesbureau 3 beoordelen de adviseurs van Adviesbureau 4 de gevolgen van het falen van de constructies aan de hand van drie schadegebeurtenissen:

- Vrijkomen van de gevaarlijke stof;
- Vrijkomen van een stof die fysieke schade veroorzaakt;
- Neerstorten van constructie(delen) en raken van personen.

De ernst van de gevolgen wordt vervolgens door middel van een risicomatrix op basis van expert judgement in categorieën ingedeeld. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in zes categorieën voor zowel personenschade als milieuschade.

4.2.4.5 Observaties

De door de adviesbureaus gebruikte schadecategorieën zijn vergelijkbaar: er wordt onderscheid gemaakt in personen en milieuschade, overlijden van één of meerdere personen leidt in de regel tot onacceptabele risico's. Verschillen worden zichtbaar wanneer het over het meewegen van effect- of schadebeperkende maatregelen gaat. Alleen wanneer uitstromingshoeveelheden en aantallen blootgestelden expliciet gemaakt zijn kan de werking van deze maatregelen meegewogen worden.

Verder valt op dat bij een aantal adviesbureau's niet alleen de schade als gevolg van het vrijkomen van gevaarlijke stof beschouwd is, maar ook het vrijkomen van stoffen die geen gevaarsetikett dragen en het getroffen worden van personen door neerstortende constructiedelen.

4.2.5 Beoordeling van het risico van een LoC door aardbeving

Adviesbureau 1 berekent uit de kans op falen en het aantal mogelijke dodelijke slachtoffers een risicorankingfactor. De kans op falen resulteert daarbij uit:

- De som van kansen op falen draagconstructie, leidingen en verweking
- Correctiefactoren op basis van expert opinion voor constructieve staat van insluitsystemen en naburige constructies

Vervolgens worden aan de hand van een risicomatrix mogelijke schades en waarschijnlijkheden op basis van expert judgement in categorieën ingedeeld. Op basis van de positie in de risicomatrix wordt een prioriteit afgeleid. Objecten met een hoge prioriteitscategorie (rood deel van de matrix) zijn vervolgens voor Fase 2 geselecteerd.

Er is geen direct verband tussen de berekende risicorankingfactoren en de vastgestelde prioriteit.

4.2.5.1 Aanpak 2

Adviesbureau 2 categoriseert de aardbevingsrisico's met behulp van een standaard risicomatrix. In het algemeen worden objecten met een hoog en zeer hoog risico aangewezen voor Fase 2 onderzoek. Hier worden objecten aan toegevoegd op basis van expert judgement, meestal vanwege constructieve omstandigheden (bijv. hoge, smalle constructies).

Het adviesbureau zet de waarschijnlijkheid van schade als gevolg van een LoC gelijk aan de waarschijnlijkheid van het falen van de constructie. Hierbij zijn de vervolgcansen, zoals ontsteking of blootstelling, niet meegewogen.

4.2.5.2 Aanpak 3

Adviesbureau 3 beoordeeld de aardbevingsrisico's als kansen op een bepaalde aardbevingssschade en gebruikt daarvoor bedrijfsspecifieke risicomatrices. Aan de risicomatrices zijn vaak afzonderlijke schalen voor de effecten en de kansen toegekend, zodat het risico numeriek kan worden uitgedrukt in een zogenaamde RPN (Risk Priority Number). De RPN wordt als volgt gedefinieerd:

$RPN_{max} = \text{maximale waarde effect} \times \text{maximale waarde kans (structural/mechanical/piping-pipelines)}$.

Voor de verschillende risiconiveaus is bepaald of mitigerende acties al dan niet genomen moeten worden of worden aanbevolen. Het houdt in dat bij "low risk" geen maatregelen noodzakelijk zijn. Bij alle andere risico's zijn maatregelen wenselijk dan wel noodzakelijk.

In de regel zijn objecten met de risicocategorieën hoog en zeer hoog voorgedragen voor nader onderzoek in Fase 2.

4.2.5.3 Aanpak 4

Ook de adviseurs van Adviesbureau 4 hebben de indeling in de risicomatrix als basis genomen voor de aanwijzing voor nader onderzoek in Fase 2. De risicocategorie is eveneens het resultaat van een beoordeling van de waarschijnlijkheid dat een bepaalde aardbevingssschade optreedt.

Bij de aanwijzing van objecten voor Fase 2 onderzoek is echter niet alleen de risicocategorie hoog doorslaggevend. Er zijn ook objecten met gemiddeld ingeschaalde risico's aangewezen wanneer een aardbeving een bepalende bijdrage aan het totale risico van een LoC voorstelt.

4.2.5.4 Observaties

De aanwijzing van objecten voor aanvullend onderzoek in Fase 2 is door alle adviesbureaus gebaseerd op de inschaling in categorieën van risicomatrices. In de regel zijn alleen objecten geselecteerd die bij falen tot één of meerdere dodelijke slachtoffers of tot grootschalige milieuschade zouden kunnen leiden. Het doel van de risicobeoordeling om per onderzocht bedrijf prioriteiten vast te stellen is daarmee vervuld. Het risiconiveau waarop aanwijzing voor Fase 2 onderzoek is gebaseerd verschilt echter tussen adviesbureaus en bedrijven. Er kan bijvoorbeeld niet geconcludeerd worden dat de adviesbureaus altijd objecten hebben aangewezen waarbij de waarschijnlijkheid van blijvend letsel of dodelijke slachtoffers met één per 10.000 jaar of hoger is ingeschat.

5 SELECTIEMETHODIEK

5.1 Inleiding

Uit de voorgaande stap is gebleken dat de methoden en criteria voor de inschaling van risico's in Fase 1 uiteenlopen. Toch komen alle adviesbureaus tot verklaarbare resultaten die door de betreffende bedrijven omarmd en goedgekeurd zijn. Daarom zullen de in Fase 1 uitgevoerde onderzoeken en de ten grondslag liggende methoden in stand gehouden worden. Wel zullen een aantal aanvullende voorwaarden gesteld worden om te komen tot een representatieve selectie van objecten waarvan verondersteld kan worden dat het aardbevingsrisico hoog is. Voorgesteld wordt om deze objecten dan ook nader te onderzoeken in Fase 2. Het staat de bedrijven vrij om uit eigen inzicht en volgens hun beleid aanvullende objecten te selecteren waarvan zij het aardbevingsrisico hoog achten.

De Fase 1 onderzoeken zijn dus onderdeel van de selectiemethodiek. Op sommige reeds uitgevoerde onderzoeken zullen aanpassingen gedaan moeten worden om aan deze selectiemethodiek te voldoen, bij de meeste reeds uitgevoerde studies betekent de toepassing een verdere aanscherping van de selectie die naderhand toegepast wordt.

Onderstaand figuur geeft de selectiestappen weer.



Figuur 9: Overzicht stappen selectiemethodiek

De selectiemethodiek is zowel voor de in Fase 1 reeds onderzochte bedrijven bedoeld, als voor nieuwe bedrijven waarvoor nog geen Fase 1 onderzoek is uitgevoerd. Een nieuw bedrijf kan voor de uitvoering van het Fase 1 onderzoek de aanpak van één van de vier adviesbureaus kiezen of kan een andere methode toepassen, mits deze aan de Handreiking voor Fase 1 onderzoeken van TNO/Deltares [Ref. 4] voldoet.

De uitkomsten van het Fase 1 onderzoek wordt vervolgens aan de aanvullende selectiecriteria getoetst. Uit deze toets volgen de objecten waarvoor Fase 2 onderzoek uit zou moeten worden gevoerd. Het resultaat van de aanvullende selectie moet dus als minimum invulling gezien worden. Het staat bedrijven vrij om ook voor andere objecten Fase 2 onderzoeken uit te laten voeren.

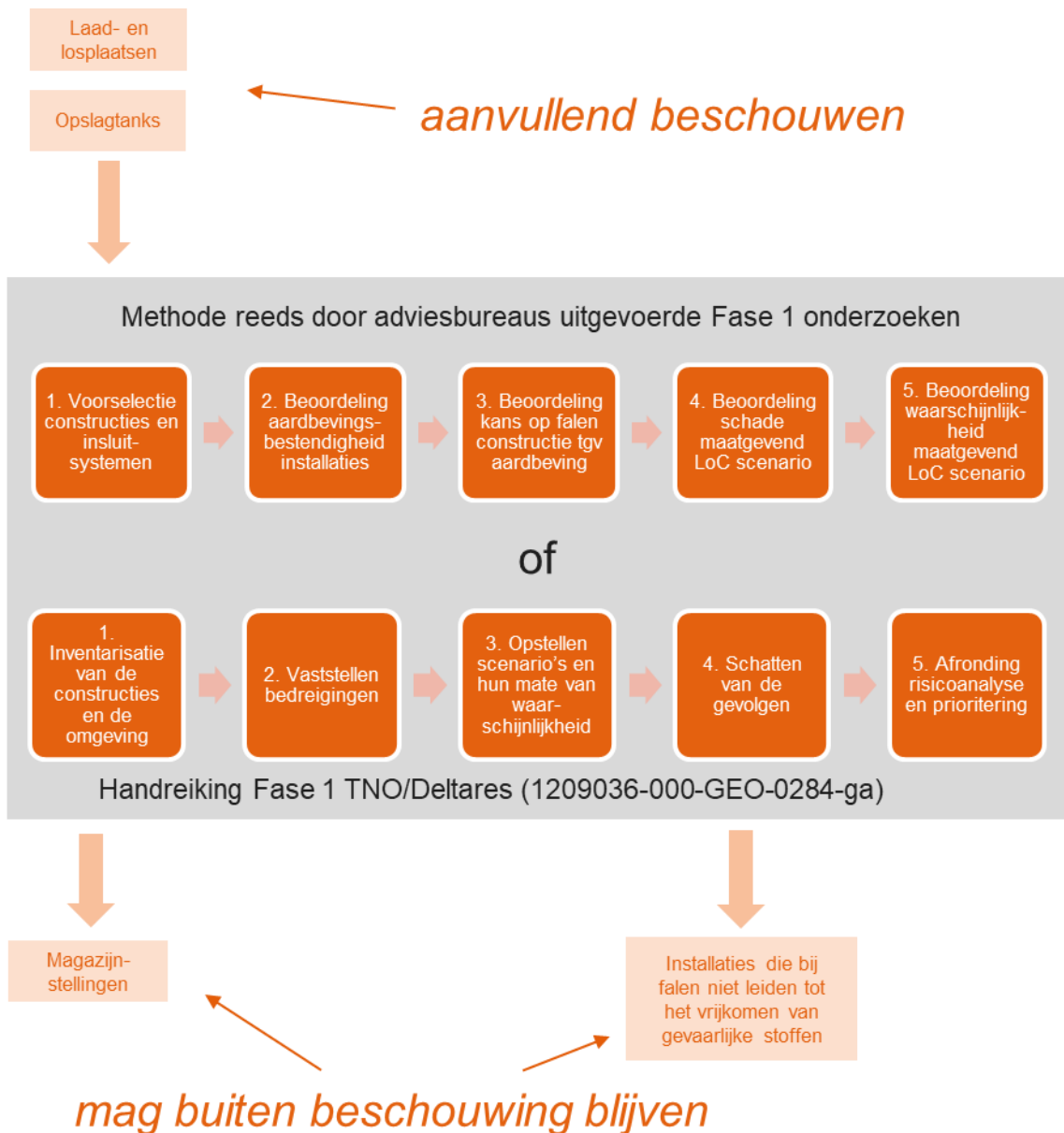
In de volgende paragrafen zijn de stappen van de selectiemethodiek nader uitgewerkt:

1. Fase 1 onderzoeken
2. Selectie kritische constructies

5.2 Fase 1 onderzoeken

5.2.1 Overzicht aanvullende selectiefactoren

Op basis van de geanalyseerde Fase 1 onderzoeken zijn er aanvullende selectiefactoren vastgelegd, zie Figuur 10.



Figuur 10: Overzicht aanvullingen Fase 1 onderzoeken

In de volgende paragrafen worden de aanvullingen nader toegelicht.

5.2.2 Inventarisatie en voorselectie constructies en insluitsystemen

5.2.2.1 Laad- en losplaatsen

Uit de analyse van Fase 1 rapporten is gebleken dat niet alle adviesbureaus laad- en losplaatsen hebben beschouwd tijdens het Fase 1 onderzoek. Aangezien leidingen, laadarmen, vaste aansluitingen en andere stationaire installatiedelen mogelijk wel aan kritische aardbevingsbelastingen kunnen worden blootgesteld, zullen laad- en losplaatsen bij de voorselectie beschouwd moeten worden. Bovendien kan de overslag van gevaarlijke stoffen significant aan de risico's voor de externe veiligheid en het milieu bijdragen.

5.2.2.2 Opslagtanks

Wanneer de voorselectie uitgevoerd wordt met behulp van de subselectiemethodiek conform HRB [Ref. 5] zullen opslagtanks die gezamenlijk in een tankput staan niet als binneninstallatie beschouwd worden. Bij een aardbeving kunnen immers alle in een tankput gesitueerde opslagtanks tegelijk falen, waardoor de tankput overstroomt. Een dergelijk geval is niet vergelijkbaar met een binnensituatie. Hierdoor zal de aanwijsfactor met een factor 10 stijgen en mogelijk aanvullende opslagtanks in Fase 1 beschouwd moeten worden.

5.2.2.3 Magazijnstellingen

Magazijnstellingen kunnen buiten beschouwing worden gelaten in Fase 1 en Fase 2 onderzoeken. Deze zullen over het algemeen toch versterkt moeten worden om aardbevingsbestendig te zijn, zie ook 4.2.1.5.

5.2.3 Beoordeling van de schade

Uit de analyse van de uitgevoerde Fase 1 onderzoeken is gebleken dat een groot aandeel van de beschouwde aardbevingsscenario's niet direct of indirect tot het vrijkomen van een gevaarlijke stof zouden leiden. Het gaat dan om het instorten van een constructie, waarbij personen getroffen worden door constructiedelen, of om het vrijkomen van heet, maar niet als gevaarlijke stof geëtiketteerd product. Hoewel schadegebeurtenissen weliswaar blijvend of dodelijk letsel kunnen veroorzaken, zijn deze echter niet altijd specifiek voor industriële activiteiten: er zijn ook niet-industriële werkgevers die hun personeel moeten beschermen tegen instortende bedrijfsgebouwen.

Aangezien de selectiemethodiek zich richt op het terugdringen industriële aardbevingsrisico's, zal hier prioriteit gegeven worden aan installaties waaruit gevaarlijke stof vrij kan komen. In dat licht wordt aan installaties en gebouwen waarbij dat niet het geval geen prioriteit toegekend. Deze bedrijfsdelen kunnen vanuit andere overwegingen wel voor nader onderzoek in Fase 2 geselecteerd worden.

5.3 Selectie kritische constructies

5.3.1 Overzicht

Op basis van Fase 1 onderzoeken zijn er aanvullende selectiefactoren opgesteld. Het resultaat is het toevoegen van 3 stappen (zie Figuur 11 voor een visuele weergave).



Figuur 11: Criteria voor de selectie van kritische constructies

In de volgende paragrafen zijn de drie aanvullende selectiestappen uitgelegd:

6. Risicoreductie kansbeperkende maatregelen
7. Risicoreductie effectbeperkende maatregelen
8. Bepaling kritische constructies (waarvoor Fase 2 onderzoek noodzakelijk is)

5.3.2 Risicoreductie kansbeperkende maatregelen

5.3.2.1 Tanks en leidingen

De analyse van de reeds uitgevoerde Fase 1 onderzoeken toont aan dat de adviesbureaus de belangrijkste factoren die het faalgedrag van constructies beïnvloeden bij de risicobeoordeling meegewogen hebben:

ontwerp, vorm en belasting van de draagconstructies, geotechnische stabiliteit en fundering en staat van onderhoud. Onafhankelijk daarvan lijken sommige typen constructies beter bestand tegen aardbevingsbelastingen dan op basis van Fase 1 onderzoeken werd ingeschat.

TU Delft heeft bij een tussentijdse evaluatie van uitgevoerde Fase 2 onderzoeken vastgesteld dat leidingen die constructief ondersteund zijn (met leidingensupports) in alle 10 onderzochte gevallen bestand leken tegen de maatgevende aardbevingsbelasting [Ref. 3]. Ook de ondersteunende constructie van deze leidingen bleek slechts in één van de 10 gevallen niet aardbevingsbestendig.

In hetzelfde onderzoek is gebleken dat 11 onderzochte opslagtanks allen bestand zijn tegen de maatgevende aardbevingsbelasting. Bij de steunconstructie van opslagtanks werd in één van 10 gevallen vastgesteld dat de constructie niet aardbevingsbestendig is, terwijl bij de fundering slechts 50% van de onderzochte constructies bestand leek te zijn.

Voor bovengrondse leidingen en voor bovengrondse opslagtanks (exclusief fundering) wordt de kans op falen daarom met een factor 10 of één waarschijnlijkheidscategorie lager ingeschat dan volgens de resultaten van de Fase 1 onderzoeken.

5.3.2.2 Blootstellingskans voor personen

Bij het merendeel van de Fase 1 onderzoeken is verondersteld dat alle binnen het effectgebied van de falende installatie mogelijk aanwezige personen schade ondervinden. Dit is een conservatieve aanname omdat industriële installaties vaak slechts kortdurend bezet zijn tijdens wachtronden of tijdens onderhoud. Dit geldt met name voor tankparken. Daarom wordt de waarschijnlijkheid op persoonlijke schade met een Factor 10 of met één categorie gereduceerd, wanneer in het Fase 1 onderzoek geen rekening is gehouden met de blootstellingskans.

5.3.3 Risicoreductie effectbeperkende maatregelen

5.3.3.1 Werking fail-safe afsluiters

Bij het falen van leidingen en in situaties waarbij de uitgestroomde hoeveelheid bepaald wordt door verpompings van gevaarlijke stof voorkomen op afstand bedienbare afsluiters dat de gehele systeeminhoud vrijkomt. In geval van een aardbeving zullen deze afsluiters in de regel blijven functioneren, ook al vallen hulpenergieën uit, omdat deze afsluiters mechanisch sluiten bij falen van aansturing. Bij objecten bestaande uit meerdere procesvaten, bij laad- en losinstallaties en bij leidingen wordt de schade daarom één categorie lager ingeschaald.

5.3.3.2 Werking noodplan

Wanneer gevaarlijke stoffen vrij komen is vaak nog tijd om personen in veiligheid te brengen, voordat deze blootgesteld worden aan schadelijke gevolgen. Dit reduceert het aantal blootgestelden, zeker als er automatische detectie- en ontruimingssystemen aanwezig zijn. Daarom wordt de schade één categorie lager ingeschaald, wanneer de werking van noodplanmaatregelen in het Fase 1 onderzoek nog niet is beschouwd.

5.3.3.3 Werking opvangvoorziening

Lekkages uit procesvaten en tanks die in gebouwen of in tankputten zijn opgesteld, verspreiden zich niet vrij over de grond, maar worden door opvangvoorzieningen en lekbakken tegengehouden. Dit geldt ook voor dubbelwandige insluitsystemen. Tijdens een aardbeving kunnen deze opslagvoorzieningen beschadigen. Er kan echter van uit worden gegaan dat de opvang in geval van een aardbevingssschade (bijvoorbeeld scheurvorming) nog steeds verspreiding tegenhoudt, ook al is het gedeeltelijk.

Daarom wordt voor insluitsystemen in gebouwen en voor enkele tanks in gebouwen of tankputten een schadereductie van één categorie toegepast, indien nog niet meegewogen in het betreffende Fase 1 onderzoek. De reductiefactor geldt alleen voor toxische en milieugevaarlijke scenario's.

5.3.4 Bepaling kritische constructies

5.3.4.1 Pounding

Tijdens de analyse van de Fase 1 onderzoeken bleek het risico op pounding in enkele gevallen toegekend te zijn aan het object dat getroffen wordt door de vallende constructie. De getroffen constructie werd dan bij hoge vervolgschade aangewezen voor nader onderzoek naar de aardbevingsbestendigheid. Aangezien het in de meeste gevallen zinvoller is om de vallende constructie te aardbevingsbestendig te maken, dan alle installaties die eventueel getroffen zouden kunnen worden, wordt bij pounding de mogelijk vallende constructie voor Fase 2 onderzoek aangewezen. De installaties binnen het valgebied worden alleen aangewezen wanneer het risico zonder pounding ook al hoog of zeer hoog is.

5.3.4.2 Bijdrage aan het plaatsgebonden risico (PR)

Voor de beoordeling van de aardbevingsrisico's in Fase 1 onderzoeken zijn risicomatrices gebruikt waarin zich de acceptatiecriteria van de onderzochte bedrijven weerspiegelen. Voor de omgevingsveiligheid wordt de toelaatbaarheid van risico's rond het vrijkomen van gevaarlijke stoffen met behulp van wettelijke grenswaarden beoordeeld. Daarbij worden plaatsen waar zich regelmatig grotere hoeveelheden (minder zelfredzame) mensen op kunnen houden beschermd. Deze plaatsen zijn kwetsbare objecten. Het betreft woongebieden, scholen, grote kantoor- of winkelpanden, ziekenhuizen, bejaardencentra etc. Om zeker te stellen dat met deze maatschappelijke risicogrenzen rekening is gehouden worden alle objecten voor onderzoek in Fase 2 aangewezen, waarbij een faalscenario van het object uit de QRA meer dan 10% bijdraagt aan het plaatsgebonden risico op een bij een kwetsbaar object gelegen Risk Ranking Point (zie HRB [Ref. 5] voor definitie RRP).

Daarbij is het niet de bedoeling om de bestaande QRA berekeningen te herzien om de PR bijdrage te bepalen. Alleen als in bestaande QRA studies een RRP bij een kwetsbaar object is gelegen en het betreffende object met een willekeuring LoC scenario meer dan 10% bijdraagt zal dit object voor onderzoek in Fase 2 geselecteerd worden.

5.3.4.3 Afnemend aardbevingsrisico

Het KNMI heeft in de publicatie van de shakemaps 2019 [Ref. 6] vastgelegd welk effect van de teruglopende aardgasproductie op de waarschijnlijkheid van aardbevingen verwacht kan worden, zie onder.

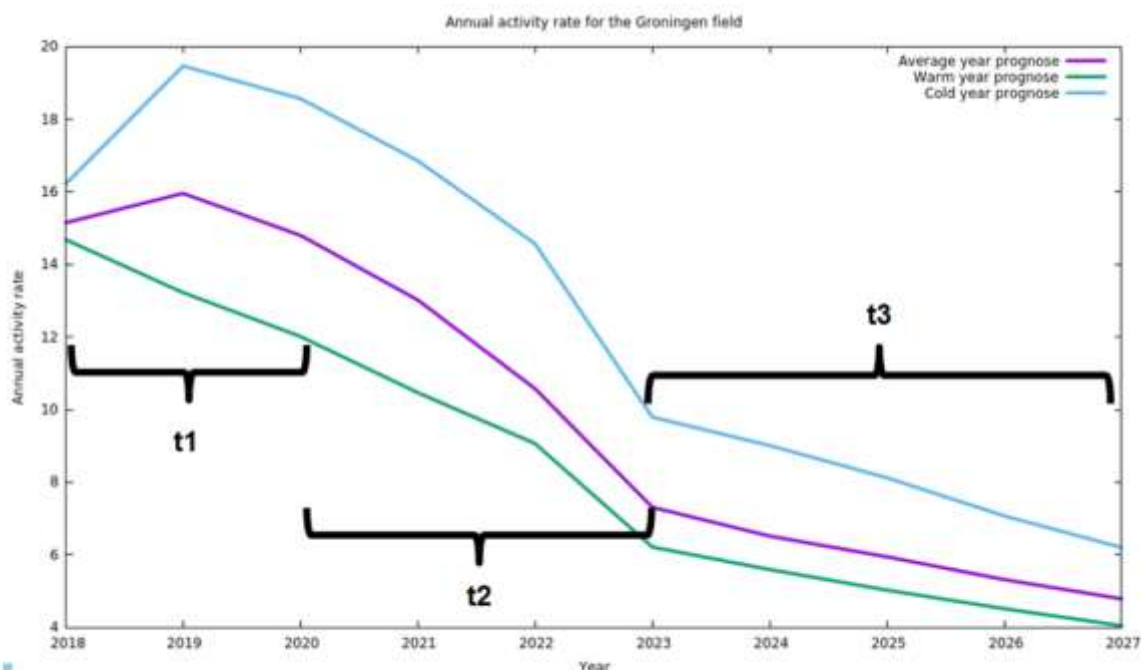


Figure 5: Definition of periods for levels of activity rates between 2018 and 2027. The number of events per year is counted for $M > 1.5$.

Uit de grafiek kan afgeleid worden dat de waarschijnlijkheid van een aardbeving in 2027 met 69% afgenomen is ten opzichte van 2019. Ervan uitgaande dat de afname in alle delen van het aardbevingsgebied even groot is en dat aardbevingen met magnitude $M \leq 1.5$ geen schade aan industriële installaties opleveren, wordt verondersteld dat over 7 jaar nog slechts 31% van de 'hoog risico' objecten blootgesteld worden aan een aardbeving met een maatgevende grondversnelling. Daarom moeten de 30% van de hoog risico objecten met de hoogste waarschijnlijkheid op bezwijken zeker aangewezen worden voor Fase 2 onderzoek.

5.3.4.4 Bedrijfsspecifieke selectiefactoren

De boven beschreven aanvullende selectiefactoren zijn afgeleid uit een generiek begrip van een LoC-scenarioverloop en algemeen geldige grondslagen voor risicobeoordeling. Er zullen bij ieder bedrijf specifieke omstandigheden en risicofactoren van toepassing zijn, die niet met de beschreven beoordelingscriteria te vatten zijn. Om met deze afwegingen en situaties rekening te kunnen houden is een bedrijfsspecifieke selectiefactor ingevoerd. Deze selectiefactor leidt onafhankelijk van de toepassing van alle andere hier beschreven factoren tot aanwijzing wanneer tenminste één van de volgende voorwaarden vervuld is:

6. Aardbevingsbestendig maken van de constructie zou het risico op vrijkomen van gevaarlijke stof acceptabel maken (van rood of geel naar groen of blauw gebied van de risicomatrix)
7. Er zijn andere redenen om de belastbaarheid van een (draag)constructie te onderzoeken (bijv. mogelijke aantasting corrosie of beschadiging ten gevolge van aanrijding of hijsincident)

Voorwaarde 1 waarborgt dat LoC scenario's voorkomen worden die alleen door het mogelijk optreden van aardbevingen een significant risico opleveren. Dit zijn situaties waarbij het falen van een insluitsysteem zonder aardbevingen heel onwaarschijnlijk is of situaties waarbij de effecten van het vrijkomen van gevaarlijke stof door een aardbeving veel ernstiger zijn, bijvoorbeeld omdat bepaalde voorzieningen niet werken. De selectievoorwaarde is alleen vervuld wanneer het risico acceptabel wordt, dus **niet** wanneer na het aardbevingsbestendig maken nog steeds maatregelen noodzakelijk zouden zijn (bijv. van rood naar geel).

Voorwaarde 2 betreft een efficiëntieslag: een belangrijke reden voor het ontwikkelen van de selectiemethodiek is het voorkomen van tijdrovende onderzoeken aan constructies waarvoor dit eigenlijk niet nodig zou zijn. Er zullen andersom ook constructies zijn waarbij onderzoek naar de belastbaarheid uitgevoerd zou moeten worden, ook al waren er geen aardbevingsrisico's, bijvoorbeeld om de gevolgen van aging in kaart te brengen. Voor deze constructies zou Fase 2 onderzoek zinvol zijn. Voorwaarde is wel dat het falen van de constructie tot vrijkomen van gevaarlijke stof leidt.

6 VOORBEELDEN TOEPASSING SELECTIEMETHODIEK

Op de bedrijfsspecifieke en de QRA gerelateerde selectiefactoren na, zijn de aanvullende selectiefactoren toegepast op vier voorbeeldbedrijven (één bedrijf per adviesbureau). De voorbeelden tonen aan dat het aantal voor Fase 2 onderzoek geselecteerde objecten aanzienlijk daalt, wanneer de aanvullende selectiecriteria worden toegepast.

De resultaten van de uitwerking van de selectiemethodiek zijn opgenomen in de bijlage.

7 REFERENTIES

- Ref. 1 TNO / Deltares, '1209036-000-GEO-0287-v7-Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor bedrijven in de industriegebieden in de provincie Groningen'
- Ref. 2 TU Delft, 'Explanatory notes for the "LoC Toets" in application to the industrial facilities in Groningen', 1 februari 2017
- Ref. 3 TU Delft, 'Lessons' learned: "LoC Toets" in application to the industrial facilities in Groningen', 8 november 2018
- Ref. 4 TNO / Deltares, 'Handreiking Fase 1 voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor bedrijven in de industriegebieden in Groningen', 8 juni 2018
- Ref. 5 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 'Handleiding Risicoberekeningen Bevi' versie 3.3, 1 juli 2015
- Ref. 6 Royal Netherlands Meteorological Institute, 'Update 2018 Shakemaps for "Maximum Considered Earthquake" Scenario in Groningen', 12 December 2018

Bijlage 1 Selectiemethodiek aardbevingsgevoelige industriële installaties

Zie presentatie sheets 11 - 25

COLOFON

ONTWIKKELING SELECTIEMETHODIEK INDUSTRIE
(GEANONIMISEERDE VERSIE)
VOOR WELKE AARBEVINGSGEVOELIGE CONSTRUCTIES IS NADER ONDERZOEK
ONVERMIJDELIJK?

KLANT

Nationaal Coördinator Groningen

AUTEUR

Carsten Assmann

PROJECTNUMMER

C05011.000496.0120

ONZE REFERENTIE

DATUM

20 januari 2020

STATUS

Concept

GECONTROLEERD DOOR

Nico van Roden
Lead Consultant Risk Assessments

VRIJGEGEVEN DOOR

Carsten Assmann
Afdelingshoofd SEC-NL

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com